BRUNO FASSI
Ist. Naz. Piante da Legno
« G. Piccarolo »
Torino - Italia

ROBERTO JODICE
Ist. Naz. Piante da Legno
« G. Piccarolo »
Torino - Italia

RAYMOND VAN DEN DRIESSCHE
Office de la Rech. Scient. et
Tech. d'Outre-Mer. Sect. Pédol.
Bondy - France

MATIERE ORGANIQUE ET MYCORRHIZES DANS LE DEVELOPPEMENT DES SEMIS DE « PINUS STROBUS »

ORGANIC MATTER, MYCORRHIZAE AND THE DEVELOPMENT OF WHITE PINE SEEDLINGS (« PINUS STROBUS » L.)

Summary

In order to face the needs of planting stock for afforestation of unproductive coppices and of ever more increasing areas formerly devoted to agriculture, the establishment of large conifer nurseries became necessary. Such nurseries, for their great surface, must be re-established on the same soil, which involves specific fertilization problems that must be solved. In fact to obtain planting stock suitable for afforestation one must produce not only well developed but also well mycorrhized transplants.

We report here the results of our experiments to determine the development of white pine seedlings and transplants raised in pots, on different types of soil enriched or not with organic matter. The pine seedlings used in our experiments have been artificially inoculated with mycorrhizal fungi such as: ectoendomycorrhizal mycete, strain 278; *Tuber albidum*; *Ixocomus luteus*; *Ixocomus granulatus*.

Two groups of soils have been used:

a - One agricultural soil: siliceous sand, agricultural soil, agricultural soil enriched with raw organic matter (peat).

b - One forest soil: sandy soil, sandy soil enriched with humified organic matter, deciduous forest soil (mull).

The results proved the influence of organic matter (especially when humified) on the growth of white pine in the first years. The deciduous forest soil (13% organic matter, 6% humus) gave the best rate of growth, and symbiosis with *Tuber albidum* increased such rate further.

The plant growth on deciduous forest soil is due to its high nutrient content such as exchangeable bases and nitrogen; this entails, at the end of the experiment, a general decrease of these elements and humus content. As to nitrogen compounds, amino acids are very easily mineralized and assimilated by plants; as regards to soil quality, this becomes worse because there is an increase of the relative content of fulvic acids.

The agricultural soil (2% organic matter, 1% humus) and the humified organic mixture

Travail n. 146 du Centro di Studio per la Micologia del Terreno del C.N.R., sous la direction du prof. Arturo Ceruti, chez l'Istituto Botanico dell'Università di Torino, en collaboration avec l'Istituto Nazionale per Piante da legno « G. Piccarolo » di Torino.

(4% organic matter, 1% humus) proved good substrata as well: the effect of the latter improved when *Ixocomus luteus* mycorrhizae were present.

Peat addition to agricultural soil (20% in volume) lowered the growth rate of seedlings and transplants in presence of all the fungi tested. In this substratum the humification of raw organic matter increases (humus content raised from 1% to about 1,3%) while the development of plants is lowered owing to exchangeable bases and nitrogen immobilization. On agricultural soil and agricultural soil enriched with peat, the relative content of fulvic acids also increases, as on deciduous forest soil. This is due to the activity of mycorrhizal fungi. It does not occur on soils enriched with highly humified organic matter, where artificial addition of humic acids counterbalances the continuous production of fulvic acids by mycorrhizal fungi. Therefore in order to keep the best fertility level for plant growth we must add highly humified organic matter to the nursery soil.

An exceedingly intense mycorrhizal activity, expressed by the number of mycorrhizal rootlets, does not correspond to the optimum seedlings development.

La production des plants de résineux pour les boisements dans les divers pays est de plus en plus concentrée dans des pépinières spécialisées pour permettre la mécanisation intégrale des opérations culturales et pour réduire le prix de revient des plants.

Il s'agit de pépinières de dimensions considérables, dans lesquelles on a faits des investissements importants pour l'aménagement du sol et pour les installations fixes. C'est la raison pour laquelle la culture des plants revient continuellement sur les mêmes sols. Dans ces conditions, le terrain est soumis à un épuisement rapide ainsi qu'à la pullulation de parasites radiculaires, champignons et nématodes.

Contre le premier inconvénient on intervient avec des fumures abondantes, surtout organiques, tandis que contre le second on traite avec des biocides pour désinfecter le sol.

Ces traitements agissent sur la flore symbiotique des conifères, en particulier les biocides, qui peuvent conduire à l'élimination des champignons mycorrhiziens indispensables au développement normal des conifères (TRAPPE et STRAND, 1969; IYER, 1971). La matière organique, au contraire, représente le moyen le plus efficace de reconstitution de la fertilité dans les pépinières, surtout en ce qui concerne l'apport d'azote, compte tenu du mycotrophisme prépondérant des conifères (WILDE, 1968). Dans ces pépinières se présente donc la nécessité absolue d'une fertilisation organique appropriée et la nécessité d'inoculer des champignons symbiotiques dans le cas où la stérilisation totale du sol les aurait éliminés ou du moins réduits.

Nous avons pourtant jugé convenable de conduire des expériences sur l'influence de la matière organique de diverse nature sur le développement des semis et le repiquage de *Pinus strobus* et, aussi, sur l'influence des champignons mycorrhiziens suivants: Mycète ectoendomycorrhizien, *Tuber albidum* Pico, *Ixocomus luteus* (Linné ex Fries) Quélet et *I. granulatus* (Linné ex Fries) Quélet, qui sont les champignons les plus représentés dans les pépinières d'Italie du Nord.

L'étude a porté sur deux séries d'expériences: dans l'une on a étudié l'apport de matière organique brute, tourbe de sphagnum, à un sol agricole; dans l'autre on a étudié l'apport de matière organique artificiellement humifiée au sable et le sol humifère de forêt de feuillus.

La tourbe de sphagnum est couramment employée dans les pépinières forestières pour enrichir le sol en matière organique et GÖBL et PLATZER (1967) signalent les résultats positifs d'un apport de tourbe seule ou accompagnée d'un engrais minéral sur le *Pinus cembra* en Autriche. En Angleterre BENZIAN et alii (1972) ont comparé, au cours de 15 ans d'expériences, l'effet de la fertilisation organique et minérale des semis et des plants repiqués de *Picea sitchensis*; ils ont démontré que les résultats supérieurs de l'apport de la matière organique humifiée artificiellement, comparés à ceux de la fertilisation minérale, se manifestent tardivement. En outre l'engrais minéral et la matière organique humifiée artificiellement, employés ensemble, donnent des résultats supérieurs à ceux qu'on obtient avec chacun des 2 engrais employés séparément.

Le sol humifère de forêt de feuillus ou « mull » constitue sûrement le terrain d'élection pour le développement de *Pinus strobus*. En effet dans, ces terres, en Italie du Nord, on a assisté à la diffusion spontanée de l'espèce introduite d'Amérique du Nord le siècle passé (GIORDANO, 1960, 1966; PICCAROLO, 1958). Il s'agit généralement de sols recouverts par des taillis de châtaigniers situés en zone climacique chêne- charme. Ces bois se trouvent exclusivement sur des terrains accidentés qui ne peuvent être utilisés pour l'implantation des pépinières. Il est donc d'un grand intérêt pour les programmes de production de plants de *Pinus strobus* de pouvoir reproduire artificiellement, dans les terres alluvionnaires de plaine, les conditions d'humification du sol existant dans les sols de forêts feuillues. Il nous intéressait aussi d'étudier dans ces différents substrats le comportement des champignons mycorrhiziens les plus répandus dans nos pépinières.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les deux facteurs, *sols et champignons*, ont été étudiés dans des expériences factorielles $(3^2 \times 2^0) \times 3$ en blocs de 9 unités. Les matériels employés furent les suivants:

Groupe *sol agricole*

a - sols:
sable siliceux
sol agricole
sol agricole avec 20% en volume de matière organique brute (tourbe)

b - champignons:
Mycète ectoendomycorrhizien, souche 278
Tuber albidum
Ixocomus luteus

Groupe *sol de forêt*

a - sols:
sol sablonneux
sol sablonneux avec matière organique humifiée
sol de forêt feuillue (mull)

b - champignons:
Mycète ectoendomycorrhizien, souche 278
Tuber albidum
Ixocomus granulatus

Sur *sol agricole* on a conduit pendant 2 ans une expérience sur semis 2S et une autre expérience pendant 2 ans de repiquage de semis d'un an: 1S.2R (Fiche 1).

Sur *sol de forêt* on a conduit également pendant 2 ans une expérience sur semis 2S et une autre pendant 1 an de repiquage de semis de 2 ans: 2S.1R (Fiche 2).

FICHE 1 - Groupe *sol agricole*

	semis	repiquage
Expérience n.	44	38
Age	2S	1S-2R
Semis	le 10 avril 1968	le 28 juin 1967
Inoculation	le 10 avril 1968 par spores	le 2 avril 1968 par mycélium
Matériel	graines	semis de 1 an
Provenance des semences	Varallo (Novara)	Induno (Varese)
Unité expérimentale	pot de 18 cm	pot de 24 cm
Répétitions	3	3
Nombre définitif de plants par pot	4	3
Mise en pots de 24 cm	le 18 avril 1969	le 30 avril 1969
Extracion des plants	le 21 février 1970	le 26 février 1970

FICHE 2 - Groupe *sol de forêt*

	semis	repiquage
Expérience n.	37	65
Age	2S	2S-1R
Semis	le 28 juin 1967	le 28 juin 1967
Inoculation	le 9 septembre 1967 par spores	le 9 septembre 1967 par spores
Matériel	graines	semis de 1 an
Provenance des semences	Induno (Varese)	Induno (Varese)
Unité expérimentale	pot de 18 cm	pot de 24 cm
Répétitions	3	3
Nombre définitif de plants par pot	3	3
Mise en pots de 24 cm	le 27 avril 1968	le 2 novembre 1968
Extracion des plants	le 28 octobre 1968	le 15 mars 1970

Substrats

Dans le groupe d'expériences *sol agricole* on a utilisé du sol de la pépinière de Prato Sesia (Novara) où les plants de résineux sont produits en rotation avec des cultures agricoles telles que maïs et prairies. Il s'agit d'un sol alluvionnaire de la rivière Sesia (Massif du Mont Rose), siliceux et sans calcaire (tab. 1). Sur ces terres, furent déjà conduites *in situ* de nombreuses enquêtes et expériences sur les relations entre les mycorrhizes et la production des plants résineux (FASSI, 1967).

La teneur en matière organique est relativement élevée, de même que le contenu en azote (0,1%) et en humus (1,3%). Les valeurs des bases échangeables sont aussi assez élevées, il en résulte un terrain équilibré aux effets de tous les élements determinant la fertilité d'un sol.

La *tourbe de sphagnum* fut ajoutée à raison de 20% du volume. Ce matériel est couramment utilisé dans la préparation du terrain pour le semis de résineux. Il constitue un substrat organique inerte au départ mais qui peut lentement s'humifier dans le sol dont il améliore de toute façon la structure.

Etant très pauvre en azote et en humus, le *mélange avec la matière organique* a, vis-à-vis du sol agricole, un rapport C/N plus élevé et un taux d'humification plus bas avec prépondérance d'acides fulviques, tandis que les autres teneurs demeurent pratiquement inaltérées, sauf évidemment, celles de la matière organique et du pH plus acide. L'adjonction de tourbe modifie donc profondément les caractéristiques du substrat, avec un appauvrissement général de l'humus, surtout en qualité (cf. le rapport acides humiques et acides fulviques sur l'humus).

Comme substrat exclusivement minéral nous avons utilisé du sable de la rivière Sesia de la même origine géologique que le sol agricole employé dans l'expérience. Il s'agit d'un sable pourvu d'éléments minéraux d'échange, compte tenu de l'absence presque totale de colloïdes humo-argileux.

Le groupe *sol de forêt* devait au contraire mettre en évidence l'effet de la matière organique bien humifiée, telle quelle existe dans un bon sol de forêt de feuillus (mull) et le comparer avec un substrat artificiel dans lequel la matière organique avait été artificiellement humifiée par compostage de terre, fumier et tourbe. (Les analyses des substrats sont réunies dans le tableau 1).

TABLEAU 1

Caractéristiques chimiques des substrats au début des essais

	pH	calcaire %	C %	M. O. %	N %	NH_4-N ppm	C/N	Humus %	Taux d'humif %	AH sur l'hum. %	AF sur l'hum. %	K meq/100 g	Na meq/100 g	Mg meq/100 g	Ca meq/100 g
sable silicieux	5,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,060	0,11	0,45	3,60
sol agricole	5,1	—	1,39	2,39	0,108	—	12,9	1,28	55,5	61,8	38,2	0,15	0,24	1,18	10,21
sol agricole avec matière organique brute	4,5	—	2,51	4,32	0,077	—	32,4	1,02	23,5	40,5	59,5	0,18	0,19	1,69	7,95
sol sablonneux	7,9	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,086	0,135	0'53	32,5
sol sablonneux avec matière organique humifiée	6,9	3	4,97	8,55	0,225	12,1	22,1	2,28	26,8	56,3	43,7	0,15	0,29	0,70	33,5
sol de forêt de feuillus	5,0	—	7,68	13,2	0,36	36	21,3	6,35	48,2	58,8	41,2	0,32	0,63	2,23	37,5

AH = acides humiques; AF = acides fulviques.

Le *sol de forêt* a été prélevé dans l'horizon A d'une forêt de chêne-charme-châtaignier située à 260 m d'altitude sur le versant nord de la colline de Superga (Turin), constitué de marne limoneuse.

Il s'agit d'un mull forestier eutrophe, très bien pourvu de matière organique (13%) et avec humus où la présence d'acides humiques est prépondérante (59%); même les éléments minéraux sont bien représentés.

Le *mélange organique humifié* fut préparé avec les doses en volume suivantes: sol sablonneux légèrement calcaire 30%, terre limoneuse 30%, tourbe de sphagnum 20%, fumier de vache 20%. Ces derniers matériaux organiques avaient été compostés, au préalable, avec de la terre limoneuse pendant 1 an.

L'analyse chimique du mélange révèle une teneur élevée en carbone (5%) et une considérable teneur en matière organinque humifiée (2,3%) constituée pour la plupart d'acides humiques.

Comme *substrat minéral* dans cette série on a utilisé le sol sablonneux d'origine sédimentaire employé dans le mélange organique.

Même dans ce substrat minéral les valeurs des éléments minéraux d'échange sont en tout cas supérieures à celles du sable siliceux, surtout en ce qui concerne le calcium.

Tous les substrats ont été stérilisés dans des pots de terre cuite de 18 cm de ∅ en autoclave à 120 °C en deux reprises de 40′ dans 2 jours consécutifs. Dans les pots de 24 cm de ∅ la stérilisation en autoclave a duré 2 heures à 110 °C et a été répétée 2 fois, à 24 heures de distance.

Méthodes analytiques

Carbone: déterminé d'après la méthode Walkley- Black [1]: en multipliant par 1,72 on obtient la valeur de la matière organique.

Azote: d'après la méthode micro Kjeldahl.

Fractions humiques et taux d'humification: on a employé la méthode au pyrophosphate de sodium pH 10 pour l'extraction de l'humus; pour la précipitation des acides humiques on a employé H_2SO_4 conc., à pH 1 d'après la méthode de Bonfils. Le carbone humique a été déterminé selon la méthode Walkley- Black [1].

Éléments échangeables: selon la méthode à l'acétate d'ammonium 1 N suivie par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Composés azotés: l'hydrolyse acide des fractions azotées a été conduite d'après la méthode de Bremner [1], de même que la détermination de l'azote ammoniacal d'échange.

Analyse élémentaire de la matière organique: analyseur automatique CHN Perkin Elmer mod. 240.

Inoculation

Nous avons pratiqué la méthode de *synthèse semiaseptique* (Mikola, 1965) qui consiste à préparer des inoculums en culture pure qui sont introduits dans divers terrains stérilisés en autoclave pour éliminer la contamination d'autres champignons mycorrhiziens

[1] Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties. N° 9, series Agronomy. *Amer. Soc. Agron.*, Madison, Wisconsin, USA, 1965.

existant dans le sol. Les pots, une fois les plants semés ou repiqués, ne sont pas gardés en milieu aseptique, mais exposés à l'air. Ainsi, les substrats sont rapidement contaminés par des micro-organismes saprophytes, mais très rarement par des champignons mycorrhiziens.

L'inoculation a été faite par deux techniques: M) Inoculum de culture mycélienne; S) Inoculum de spores.

L'inoculum mycélien consiste dans des cultures de 2 mois des trois champignons à l'étude sur les substrats suivants:

Tourbe et hydrolysate de caséine pour *Ixocomus luteus* et *Ixocomus granulatus*;

Vermiculite et hydrolysate de caséine pour *Tuber albidum* et la souche 278 du mycète ectoendomycorrhizien [2].

On mélangea au substrat 100 ml d'inoculum par pot avant le semis de pins.

L'inoculation par spores fut faite avec spores de *Ixocomus luteus* et *I. granulatus* récoltées sur papier stérile et lavées directement sur les substrats stériles dans les pots, après 3 mois de la levée des pins. L'inoculation de *Tuber albidum* avec spores a été faite au contraire avant le semis de pins. La souche 278 du mycète ectoendomycorrhizien fut toujours inoculée par culture mycélienne sur vermiculite et hydrolysate de caséine ne disposant pas des spores.

Dans le groupe *sol agricole* l'expérience *semis* (n. 44/2S) fut inoculée par spores, tandis que l'expérience *repiquage* (n. 38/1S.2R) fut inoculée par culture mycélienne au moment du repiquage (fiche 1).

Dans le groupe *sol de forêt* on effectua seulement l'inoculation par spores (n. 37/2S). Au repiquage (n. 65/2S.1R) on utilisa les même pins de l'expérience semis, déjà mycorrhizés par les trois champignons (fiche 2).

L'intensité de la mycorrhization, exprimée en nombre de racines courtes bifurquées, a été analysée par la méthode de KIMBALL (1954).

Le développement des plants, exprimé par le poids sec, a été analysé par une méthode simple d'analyse des dispositifs expérimentaux de type factoriel, décrite par BECK, DOMMERGUES ET VAN DEN DRIESSCHE (1969).

ANALYSE DES RÉSULTATS

Groupe d'expériences sol agricole

Plants. Les effets principaux sont libres d'interaction, c'est-à-dire que les sols ont agi de la même façon avec les trois champignons mycorrhiziens (tabb. 2 et 3) avec les résultats suivants: 1) le développement des pins semés ou repiqués a été significativement plus élevé sur sol agricole que sur sable; 2) le développement des pins a été significativement inférieur dans le sol agricole lorsqu'on a apporté de la tourbe; 3) les ectomycorrhizes *Tuber albidum* et *Ixocomus luteus* ont favorisé plus que les ectoendomycorrhizes le développement des pins, en particulier des semis.

---

[2] *Tuber albidum* et la souche *Ectoendo 278* ne poussent guère en culture pure sur substrat avec tourbe.

TABLEAU 2

Poids sec moyen en grammes des semis de 2 ans de *Pinus strobus* sur sol agricole et sur d'autres substrats avec différents champignons mycorrhiziens

	Ectoendo-mycorrhizes	Ectomycorrhizes *Tuber albidum*	Ectomycorrhizes *Ixocomus luteus*
Sable	0,59	1,21	1,14
Sol agricole	3,01	5,57	4,81
Sol agricole avec tourbe	2,23	4,64	2,91

Tests F des composantes de l'interaction AB

AB 1) F = 1,83

	Mycorrhizes ectoendo-	Mycorrhizes ecto-
Sable	0,59	1,17
Sols agricoles	2,62	4,48

AB 3) F = 1,14

	Ectomycorrhizes *T. albidum*	Ectomycorrhizes *I. luteus*
Sable	1,21	1,14
Sols agricoles	5,10	3,86

AB 2) F = 0,33

	Mycorrhizes ectoendo-	Mycorrhizes ecto-
Sol agricole	3,01	5,19
Sol agricole avec tourbe	2,23	3,78

AB 4) F = 0,59

	Ectomycorrhizes *T. albidum*	Ectomycorrhizes *I. luteus*
Sol agricole	5,57	4,81
Sol agricole avec tourbe	4,64	2,91

A: Sable	A: Sol agricole	A: Sol agricole avec tourbe	B: Ectoendo mycorrhizes	B: *Tuber albidum*	B: *Ixocomus luteus*
0,98	4,46	3,29	1,94	3,81	2,95

Tests F des composantes des effets principaux A et B

A 1) F = 33,94**

Sable	Sols agricoles
0,98	3,58

B 1) F = 10,41**

Ectoendo-	Ecto-
1,94	3,38

A 2) F = 5,16*

Sol agricole	Sol agricole avec tourbe
4,46	3,29

B 2) F = 2,79

Tuber albidum	*Ixocomus luteus*
3,81	2,95

Coefficient de variation: 21%

F significatifs avec 1 et 16 degrés de liberté ⩾ 8,53** au risque 1%.
⩾ 4,49* au risque 5%.

TABLEAU 3

Poids sec moyen en grammes de plants repiqués de 3 ans de *Pinus strobus* sur sol agricole et sur d'autres substrats avec différents champignons mycorrhiziens

	Ectoendo-mycorrhizes	Ectomycorrhizes	
		Tuber albidum	*Ixocomus luteus*
Sable	1,63	2,27	1,30
Sol agricole	13,43	15,74	16,30
Sol agricole avec tourbe	9,40	12,07	11,09

Tests F des composantes de l'interaction AB

AB 1) F = 1,35

	Mycorrhizes ectoendo-	Mycorrhizes ecto-
Sable	1,63	1,79
Sols agricoles	11,42	13,80

AB 3) F = 0,23

	Ectomycorrhizes *T. albidum*	Ectomycorrhizes *I. luteus*
Sable	2,27	1,30
Sols agricoles	13,60	13,69

AB 2) F = 0,03

	Mycorrhizes ectoendo-	Mycorrhizes ecto-
Sol agricole	13,43	16,02
Sol agricole avec tourbe	9,40	11,58

AB 4) F = 0,32

	Ectomycorrhizes *T. albidum*	Ectomycorrhizes *I. luteus*
Sol agricole	15,74	16,30
Sol agricole avec tourbe	12,07	11,09

A			B		
Sable	Sol agricole	Sol agricole avec tourbe	Ectoendo mycorrhizes	*Tuber albidum*	*Ixocomus luteus*
1,73	15,16	10,85	8,15	10,03	9,56

Tests F des composantes des effets principaux A et B

A 1) F = 156**

Sable	Sols agricoles
1,73	13,00

B 1) F = 3,30

Ectoendo-	Ecto-
8,15	9,79

A 2) F = 17,12**

Sol agricole	Sol agricole avec tourbe
15,16	10,85

B 2) F = 0,20

Tuber albidum	*Ixocomus luteus*
10,03	9,56

Coefficient de variation: 14%

F significatifs avec 1 et 16 degrés de liberté ⩾ 8,53** au risque 1%.
⩾ 4,49* au risque 5%.

Un sol agricole assez riche en humus (2,4% de matière organique, 1,3% d'humus) se montre donc approprié à la production de plants de *Pinus strobus*, tandis que l'adjonction de tourbe a réduit cette capacité avec les trois champignons mycorrhiziens. Ces résultats diffèrent sensiblement de ceux obtenus par GÖBL et PLATZER (op. cit.). En Autriche avec le *Pinus cembra* l'adjonction de tourbe, à raison de 300 l par m^2 de terrain, à un sol beaucoup plus riche en matière organique (6,9%) que le nôtre a encore augmenté le développement des plants repiqués et le nombre des radicelles mycorrhizées. Dans notre cas la tourbe a bien augmenté le nombre de terminaisons mycorrhizées, mais non le développement des plants. Il y a au contraire une corrélation positive entre le poids sec des racines et le poids sec total des plants (tab. 4).

TABLEAU 4

Corrélation entre le poids sec moyen des plants entiers et celui des racines. Semis de 2 ans de *Pinus strobus* de l'expérience n. 44, groupe *sol agricole*

Substrat	Mycorrhizes	Poids sec des plants (grammes)	Poids sec des racines (grammes)
sable	Ectoendo 278	0,59	0,40
	Tuber albidum	1,21	0,80
	Ixocomus luteus	1,14	0,76
sol agricole	Ectoendo 278	3,01	2,64
	Tuber albidum	5,57	2,97
	Ixocomus luteus	4,81	2,76
sol agricole avec tourbe	Ectoendo 278	2,23	1,33
	Tuber albidum	4,64	3,00
	Ixocomus luteus	2,91	1,86

On doit toutefois noter que nos expériences de semis et de repiquage n'ont duré que 2 ans, alors que l'expérience de GÖBL et PLATZER a été analysée la 3ème année de repiquage. On ne peut donc pas exclure a priori qu'avec l'humification ultérieure de la tourbe ajoutée, que nos analyses mettent en évidence à la fin de la deuxième année de culture (tab. 5), il y aurait eu dans les années suivantes un effet plus favorable de la tourbe sur le développement des pins.

Sol. L'action de la culture des pins sur les divers substrats a été évaluée sur la base des données d'analyse de sols repris dans le tableau 5.

L'analyse chimique effectuée sur les substrats à base de *sable siliceux*, après le semis et le repiquage n'a pas révélé une différence significative vis-à-vis du substrat initial. Sur un *sol agricole*, au contraire, soit après semis soit après

TABLEAU 5

		pH	calcaire %	C %	M.O. %	N. %	NH_4-N ppm	C/N	Humus %	Taux humif. %	AH % sur l'hum.	AF % sur l'hum.	K meq/100 g	NA meq/100 g	Mg meq/100 g	Ca meq/100 g
SABLE SILICIEUX																
Substrat: au départ		5,2	-										0,060	0,11	0,45	3,60
Substrat: après culture																
Semis de 2 ans	Ectoendo 278	8,3											0,055	0,10	0,46	4,00
	Ixocomus luteus	8,3											0,060	0,13	0,48	3,95
	Tuber albidum	8,3											0,700	0,12	0,37	3,40
Semis de 2 ans et 1 an de repiquage	Ectoendo 278	8,0											0,700	0,14	0,58	3,50
	Ixocomus luteus	8,0											0,700	0,11	0,49	4,75
	Tuber albidum	7,9											0,060	0,10	0,49	4,75
SOL AGRICOLE																
Substrat: au départ		5,1	-	1,30	2,30	0,108	-	12,0	1,25	55,5	61,8	38,2	0,150	0,24	1,18	10,21
Substrat: après culture																
Semis de 2 ans	Ectoendo 278	7,4	-	1,43	2,47	0,106		13,5	1,15	47,6	55,0	45,0	0,150	0,22	1,08	9,30
	Ixocomus luteus	7,3	-	1,36	2,34	0,098		13,9	0,90	42,5	56,4	43,6	0,160	0,22	1,14	9,00
	Tuber albidum	7,3	-	1,39	2,36	0,098		13,0	1,21	51,0	57,9	42,1	0,130	0,22	1,06	7,75
Semis de 2 ans et 1 an de repiquage	Ectoendo 278	6,9	-	1,40	2,50	0,120		12,8	1,21	47,0	51,8	48,2	0,110	0,18	0,91	10,45
	Ixocomus luteus	7,0	-	1,40	2,42	0,115		12,2	1,02	42,3	48,5	51,5	0,105	0,17	0,99	11,02
	Tuber albidum	6,8	-	1,39	2,36	0,110		14,2	1,10	45,7	52,5	47,5	0,105	0,17	0,86	10,98
SOL AGRICOLE AVEC MATIERE ORGANIQUE BRUTE																
Substrat: au départ		4,5	-	2,51	4,32	0,077		32,4	1,02	23,5	40,5	59,5	0,180	0,19	1,69	7,95
Substrat: après culture																
Semis de 2 ans	Ectoendo 278	5,4	-	2,45	4,21	0,085		28,6	1,04	24,7	34,0	66,0	0,140	0,21	1,36	7,90
	Ixocomus luteus	5,3	-	2,57	4,42	0,083		31,1	0,90	20,5	32,5	67,5	0,130	0,18	1,31	8,10
	Tuber albidum	5,2	-	2,36	4,05	0,039		26,5	1,23	30,3	35,6	64,4	0,130	0,17	1,32	7,60
Semis de 2 ans et 1 an de repiquage	Ectoendo 278	6,4	-	2,20	3,77	0,076		28,9	1,39	36,9	37,5	62,5	0,170	0,17	1,35	7,48
	Ixocomus luteus	6,6	-	1,76	3,03	0,065		27,2	1,29	42,7	34,0	66,0	0,160	0,15	1,26	7,51
	Tuber albidum	6,6	-	1,80	3,10	0,076		27,7	1,24	40,0	34,6	65,4	0,160	0,16	1,34	8,02

Errata corrige: au lieu de 0,700, on doit lire 0,070.

repiquage, on peut noter une modification de la qualité de l'humus, qui consiste dans la réduction du taux d'humification et du pourcentage relatif d'acides humiques avec les trois champignons mycorrhiziens, mais en particulier avec *Ixocomus luteus*.

Avec adjonction de tourbe au sol agricole il y a une remarquable augmentation du taux d'humification, due à une partielle humification de la tourbe, mais avec prépondérante formation d'acides fulviques, tandis que la minéralisation de la matière organique est faible.

À la fin de l'expérience on constate donc, sur sol agricole, une faible tendance à la dégradation de la qualité de l'humus due à l'augmentation des acides fulviques, et l'adjonction de tourbe ne modifie pas le phénomène, même s'il est vrai que la quantité d'humus a légèrement augmenté dans tous les trois traitements.

TABLEAU 6

Poids sec moyen en grammes de semis de 2 ans de *Pinus strobus* sur sol de forêt et sur d'autres substrats avec différents champignons mycorrhiziens

	Ectoendo-mycorrhizes	Ectomycorrhizes	
		Tuber albidum	*Ixocomus granulatus*
Sol sablonneux	0,79	1,25	0,30
Sol sablonneux avec mélange humifié	0,97	1,19	1,31
Sol de forêt	2,11	4,71	2,39

Tests F des composantes de l'interaction AB

AB 1) F = 6,17*

	Mycorrhizes	
	ectoendo-	ecto-
Sol sablonneux	0,79	0,78
Sols organiques	1,54	2,40

AB 3) F = 0,14

	Ectomycorrhizes	
	T. albidum	*I. granulatus*
Sol sablonneux	1,25	0,30
Sols organiques	2,95	1,85

AB 2) F = 8,23*

	Mycorrhizes	
	ectoendo-	ecto-
Mélange humifié	0,97	1,25
Sol de forêt	2,11	3,55

AB 4) F = 25,07**

	Ectomycorrhizes	
	T. albidum	*I. granulatus*
Mélange humifié	1,19	1,31
Sol de forêt	4,71	2,39

Coefficient de variation 14%

F significatifs avec 1 et 16 degrés de liberté ⩾ 8,53** au risque 1%.
⩾ 4,49* au risque 5%.

Groupe d'expériences sol de forêt

Plants. Dans ces expériences il n'y a aucune composante d'effet principal libre de toute composante d'interaction (tabb. 6 et 7), nous interprétons donc exclusivement les *composantes d'interaction.*

1. Sols x champignons. Pour le *semis* (tab. 6 AB 1) la composante d'interaction est significative, les *sols organiques* sont plus favorables à la croissance, mais encore plus en présence d'ectomycorrhizes qu'en présence d'ectoendomycorrhizes.

Pour le *repiquage* (tab. 7 AB 1), il n'y a pas d'interaction et les *sols organiques* constituent les substrats les plus favorables avec les deux types de mycorrhizes.

2. Sols organiques x champignons

Pour le *semis* (tab. 6 AB 2), la composante d'interactioon est significative, l'effet favorable du sol de forêt est plus important avec les ectomycorrhizes.

Pour le *repiquage* (tab. 7 AB 2), la composante d'interaction n'est pas significative.

TABLEAU 7

Poids sec moyen en grammes de plants repiqués de 3 ans de *Pinus strobus* sur sol de forêt et sur d'autres substrats avec différents champignons mycorrhiziens

	Ectoendo-mycorrhizes	Ectomycorrhizes *Tuber albidum*	Ectomycorrhizes *Ixocomus granulatus*
Sol sablonneux	2,48	3,28	0,56
Sol sablonneux avec mélange humifié	15,56	17,06	19,09
Sol de forêt	12,19	30,85	13,91

Tests F des composantes de l'interaction AB

AB 1) F = 2,18

	Mycorrhizes ectoendo-	Mycorrhizes ecto-
Sol sablonneux	2,48	1,92
Sols organiques	13,87	20,23

AB 3) F = 0,77

	Ectomycorrhizes *T. albidum*	Ectomycorrhizes *I. granulatus*
Sol sablonneux	3,28	0,56
Sols organiques	23,95	16,50

AB 2) F = 2,02

	Mycorrhizes ectoendo-	Mycorrhizes ecto-
Mélange humifié	15,56	18,07
Sol de forêt	12,19	22,38

AB 4) F = 9,24**

	Ectomycorrhizes *T. albidum*	Ectomycorrhizes *I. granulatus*
Mélange humifié	17,06	19,09
Sol de forêt	30,85	13,91

Coefficient de variation 24%

F significatifs avec 1 et 16 degrés de liberté ⩾ 8,53** au risque 1%.
⩾ 4,49* au risque 5%.

3. Sols x espèces d'ectomycorrhizes

Pour le *semis* et pour le repiquage (tabb. 6 et 7 AB 3) il n'y a pas d'interaction, les sols organiques étant les plus favorables au développement, tant avec *Tuber albidum* qu'avec *Ixocomus granulatus*.

4. Sols organiques x espèces d'ectomycorrhizes

Pour le *semis* (tab. 6, AB 4), la composante est significative: le sol de forêt est plus favorable avec les ectomycorrhizes de *Tuber albidum* qu'avec les ectomycorrhizes de *Ixocomus granulatus*.

Pour le *repiquage* (tab. 7, AB 4), la composante d'interaction est également significative, mais le sol de forêt est plus favorable avec les ectomycorrhizes de *Tuber albidum* et moins favorable que le mélange humifié avec les ectomycorrhizes d'*Ixocomus granulatus*.

Il en résulte donc que:

— Les ectomycorrhizes, sauf sur sable, sont plus efficaces que les ectoendomycorrhizes.

— *Tuber albidum* est plus actif que *Ixocomus granulatus* sur sable et sur sol de forêt, ce dernier étant le meilleur.

— *Ixocomus granulatus* est plus actif que les autres champignons dans le mélange organique humifié, qui s'avère un bon substrat pour le développement des pins.

En ce qui concerne l'intensité mycorrhizienne il n'y a pas de corrélation entre le nombre de mycorrhizes et le poids des plants (tab. 8).

TABLEAU 8

Nombre moyen de radicelles mycorrhizées et poids sec moyen des plants. Semis de 2 ans de *Pinus strobus* de l'expérience n. 37, série *sol de forêt*

Substrat	Mycorrhizes	Nombre moyen de radicelles mycorrhizées	Poids sec moyen des plants, semis (2S) (grammes)
sol sablonneux	Ectoendo 278	310	0,79
	Tuber albidum	519	1,25
	Ixocomus granulatus	66	0,30
sol sablonneux avec mélange humifié	Ectoendo 278	429	0,97
	Tuber albidum	301	1,19
	Ixocomus granulatus	323	1,31
sol de forêt	Ectoendo 278	569	2,11
	Tuber albidum	206	4,71
	Ixocomus granulatus	621	2,39

Palenzona et Fontana (1970) ont déjà montré que le nombre d'extrémités mycorrhizées n'est pas lié au développement des plants, mais plutôt à l'interaction sols x type de mycorrhizes et sols x espèce de mycorrhizes.

Le développement des pins au repiquage n'est pas non plus lié au nombre de mycorrhizes; le test de corrélation entre nombre de mycorrhizes des semis de 2 ans et poids des mêmes plants après 1 an de repiquage n'est pas significatif (tab. 9). Il y a au contraire corrélation entre le poids de ces mêmes semis et leur poids après 1 an de repiquage (tab. 10).

Tableau 9

Nombre moyen de radicelles mycorrhizées des semis de 2 ans (2S) et poids sec moyen des mêmes plants après 1 an de repiquage (2S-1R).
Expériences n. 37 et 65 de la série *sol de forêt*

Substrat	Mycorrhizes	Nombre moyen de radicelles mycorrhizées des semis (2S)	Poids sec moyen des mêmes plants repiqués (2S-1R) (grammes)
sol sablonneux	Ectoendo 278	310	2,48
	Tuber albidum	519	3,28
	Ixocomus granulatus	66	0,56
sol sablonneux avec mélange humifié	Ectoendo 278	429	15,56
	Tuber albidum	301	17,06
	Ixocomus granulatus	323	19,09
sol de forêt	Ectoendo 278	569	12,19
	Tuber albidum	206	30,85
	Ixocomus granulatus	621	13,91

Tableau 10

Corrélation entre le poids sec moyen de semis de 2 ans (2S) et le poids sec moyen des mêmes plants après 1 an de repiquage (2S-1R).
Expériences n. 37 et 65 de la série *sol de forêt*

Substrat	Mycorrhizes	Poids sec moyen semis (2S) (grammes)	Poids sec moyen des mêmes plants repiqués (2S-1R) (grammes)
sol sablonneux	Ectoendo 278	0,79	2,48
	Tuber albidum	1,25	3,28
	Ixocomus granulatus	0,30	0,56
sol sablonneux avec mélange humifié	Ectoendo 278	0,97	15,56
	Tuber albidum	1,19	17,06
	Ixocomus granulatus	1,31	19,09
sol de forêt	Ectoendo 278	2,11	12,19
	Tuber albidum	4,71	30,85
	Ixocomus granulatus	2,39	13,91

TABLEAU 11

		pH	calcaire %	C %	M.O. %	N. %	NH_4-N ppm	C/N	Humus %	Taux humif. %	AH % sur l'hum.	AF	K	NA	Mg	Ca meq/100 g
SOL SABLONNEUX																
Substrat: au départ		7,9	2										0,086	0,13	0,53	32,5
Substrat: après culture:																
Semis de 2 ans	Ectoendo 278	7,2	2										0,095	0,12	0,33	31,2
	Ixocomus granulatus	7,4	2										0,080	0,10	0,49	32,5
	Tuber albidum	7,3	2										0,110	0,12	0,33	30,0
Semis de 2 ans et 1 an de repiquage	Ectoendo 278	7,0	2										0,087	0,11	0,36	30,2
	Ixocomus granulatus	7,8	2										0,089	0,12	0,48	31,4
	Tuber albidum	7,8	2										0,089	0,11	0,35	30,7
SOL SABLONNEUS AVEC MATIERE ORGANIQUE HUMIFIEE																
Substrat: au départ		6,0	3	4,97	8,55	0,225	12,1	22,1	2,28	20,8	56,3	43,7	0,15	0,29	0,70	33,5
Substrat: après culture																
Semis de 2 ans	Ectoendo 278	7,0	3	5,20	8,90	0,240	12,0	21,6	2,27	25,6	62,9	37,1	0,15	0,28	0,70	32,5
	Ixocomus granulatus	6,9	3	3,99	6,75	0,210	10,0	19,0	2,01	20,6	70,0	30,0	0,15	0,29	0,59	33,0
	Tuber albidum	7,0	3	4,15	7,10	0,210	11,0	19,8	2,07	29,2	72,8	27,2	0,16	0,25	0,70	31,2
Semis de 2 ans et 1 an de repiquage	Ectoendo 278	7,0	3	4,20	7,30	0,220	22,0	19,1	3,57	46,1	62,0	38,0	0,13	0,19	0,69	33,5
	Ixocomus granulatus	7,0	3	4,40	7,60	0,230	20,0	18,6	3,24	43,2	58,5	41,5	0,14	0,19	0,61	36,2
	Tuber albidum	7,0	3	4,20	7,35	0,230	23,0	18,4	2,07	40,5	60,5	39,5	0,15	0,19	0,64	42,0
SOL DE FORET DE FEUILLES																
Substrat: au départ		5,0	-	7,65	13,20	0,360	36,0	21,3	6,35	48,2	58,5	41,2	0,32	0,63	2,23	37,5
Substrat: après culture																
Semis de 2 ans	Ectoendo 278	4,7	-	5,96	10,20	0,322	38,0	18,5	4,60	45,0	54,0	46,0	0,31	0,63	2,34	32,5
	Ixocomus granulatus	4,3	-	7,34	12,50	0,370	37,0	19,8	5,76	46,2	57,9	42,1	0,32	0,68	2,38	31,2
	Tuber albidum	4,4	-	7,0	11,00	0,355	37,0	19,7	4,95	41,5	59,5	40,5	0,31	0,63	2,38	31,2
Semis de 2 ans et 1 an de repiquage	Ectoendo 278	4,6	-	1,53	2,64	0,110	22,0	13,9	1,10	41,8	48,0	52,0	0,14	0,16	2,05	14,6
	Ixocomus granulatus	4,3	-	1,46	2,50	0,127	23,0	11,5	0,95	38,2	29,9	70,1	0,15	0,11	2,14	14,2
	Tuber albidum	4,6	-	1,56	2,67	0,111	10,0	14,0	0,77	25,8	29,8	70,2	0,14	0,17	2,15	14,6

Dans une expérience précédente nous avons déjà constaté que le développement des semis de *Pinus strobus* au repiquage en plein champ n'était pas lié au nombre d'extrémités mycorrhizées relevées sur ces semis au moment du repiquage, mais à leur diamètre et à leur poids ainsi qu'à la présence d'ectomycorrhizes (FASSI, 1967).

Sol. À la fin de l'expérience, les recherches sur les modifications du substrat « Sol sablonneux » n'ont pas révélé de différences significatives (tab. 11), tandis que dans le substrat avec « adjonction de matière organique humifiée » on trouve une maturation accentuée de l'humus présent (humus entre 2,97 et 3,37%, taux d'humification 41%-46%) non lié à une diminution des acides humiques, à la différence de ce qui se vérifiait avec l'adjonction de tourbe dans le groupe « Sol agricole » (tab. 5).

Enfin, sur le « sol de forêt de feuillus » on a trouvé des modifiactions plus importantes, principalement après le repiquage: les teneurs des facteurs qui contribuent à la détermination de la fertilité d'un sol (matière organique, azote, humus, bases échangeables) subissent des réductions remarquables avec une diminution générale aussi de la qualité, due à la forte augmentation des acides fulviques (41% à 70% environ) et à la diminution du taux d'humification; même l'analyse de la composition élémentaire de la matière organique (tab. 12) confirme cette tendance avec forte diminution du rapport C/H dérivant d'une probable dépolymérisation des acides humiques avec formation de composés à plus bas poids moléculaire (KONONOVA, 1960). En ce qui concerne les trois espèces de champignons essayés, *Tuber albidum* laisse le substrat à un taux d'humification et avec un contenu en humus bas.

Dans le sol, outre les modifications de la matière organique, l'évolution de l'azote a aussi un grand intérêt. On a déjà montré que l'azote est le facteur le plus fréquent de la limitation de croissance des essences forestières, car il est presque toujours lié sous forme organique et sous cette forme il n'est pas accessible aux plantes. Dans ce but, il faut une transformation préliminaire en composés plus simples soit inorganiques (NH_4^+, NO_3^-) soit organiques (acides aminés, amines, etc.).

TABLEAU 12

Composition élémentaire de la matière organique dans le substrat: sol de forêt de feuillus

		C %	N %	H %	C/H
substrat au départ		7,68	0,36	1,35	5,70
2S-1R	Ectoendo 278	1,53	0,11	0,52	2,95
	Ixocomus granulatus	1,46	0,127	0,53	2,75
	Tuber albidum	1,56	0,111	0,54	2,70

TABLEAU 13

Répartition des différentes catégories de composés azotés dans le substrat: sol de forêt de feuillus

		N. tot. %	NH_4-N (1) ppm	N. insol. en HCl % (*)	Azote hydrolysé NH_4-N % (*)	a.a-N (2) % (*)	gly-N (3) % (*)	Résidus % (*)
substrat au départ		0,36	36	25,9	11,9	28,7	10,2	23,3
2S 1R	Ectoendo 278	0,11	22	33,6	12,1	16,8	17,5	20,0
	Ixocomus granulatus	0,127	23	37,3	12,8	16,8	14,7	18,4
	Tuber albidum	0,111	19	36,6	12,4	17,8	14,4	18,8

(1) Azote ammoniacal d'échange. (2) Azote des acides aminés. (3) Azote des glycides (exosoamines). (*) % sur l'Azote total.

Le rôle que jouent les champignons mycorrhiziens dans ce contexte a été étudié par LUNDEBERG (1970) qui arrive à la conclusion que les espèces en question possèdent normalement une très faible capacité de minéralisation de l'azote organique et BJÖRKMAN (1970) affirme que vraisemblablement dans la nature il y a une interaction entre les microorganismes aptes à détruire la litière et les champignons mycorrhiziens aptes à rendre assimilables par les plantes les éléments nutritifs solubles.

Nous avons donc jugé qu'il convenait d'étudier d'une façon plus approfondie la transformation de l'azote dans le « sol de forêt de feuillus » car dans un tel substrat on trouve la plus haute minéralisation de l'azote et la plus forte intensité d'accroissement de *Pinus strobus*. Les résultats sont reportés au tableau 13.

Dans le substrat de départ la fraction la plus grande est représentée par l'azote des acides aminés qui à la fin de la culture diminue d'environ 10%; par contre il y a une augmentation de la fraction insoluble en acide et de l'azote des exosoamines, tandis que la fraction extraite avec HCl non identifiée subit une sensible diminution. Entre les trois espèces mycorrhiziennes il n'y a pas de variations significatives.

Les résultats indiquent que les acides aminés et leurs polymères sont décomposés plus rapidement, et représentent ainsi, indirectement, la meilleure source de nutrition azotée pour les plantes.

En outre, est d'un interêt particulier l'augmentation du pourcentage relatif d'exosoamines dérivant, probablement, de l'hydrolyse de la chitine conséquence du développement des champignons. En effet, au dépotement, le substrat est complètement envahi par une masse mycéliaire très dense.

CONCLUSIONS

Pour conclure sur le deux séries d'expériences on peut confirmer que le « sol de forêt de feuillus » est le meilleur substrat pour le développement des jeunes plants de *Pinus strobus* et que la symbiose avec *Tuber albidum* accroit encore ce développement.

Le sol agricole et le mélange organique humifié sont de bons substrats également, l'effet de ce dernier étant accru par la mycorrhization de *Ixocomus luteus*. La tourbe, au contraire, réduit le développement des *Pinus strobus* dans le sol agricole et avec tous les champignons mycorrhiziens essayés. La matière organique a donc un effet incontestable sur le développement équilibré des pins au jeune âge, à condition d'être bien humifiée.

Le bon développement des plants repiqués sur sol de forêt de feuillus est lié à une minéralisation élevée de l'humus en général, et de sa fraction d'acides aminés en particulier. Cette fraction représente donc bien la partie azotée plus facilement minéralisable et en conséquence plus assimilable par les plantes. Il s'en suit un appauvrissement général du substrat en bases échangeables et en humus, avec une prépondérance d'acides fulviques par rapport aux acides humiques et augmentation d'exosoamines.

Le plus faible développement des plants sur sol avec adjonction de tourbe doit au contraire être attribué à la prépondérance du phénomène d'immobilisation des bases et de l'azote dans le processus d'humification de la tourbe.

La masse radiculaire modeste des semis par rapport aux plants repiqués (de 1 à 3 fois) n'à guère influencé les substrats et se manifeste uniquement sur la teneur en acides fulviques qui augmentent dans tous les substrats, à l'exception du sol avec matière organique humifiée, où les acides humiques restent prépondérants.

En conclusion l'adjonction artificielle de matière organique riche en acides humiques, équilibre la production continue d'acides fulviques de la part des champignons mycorrhiziens. Par conséquent, afin de maintenir le niveau le plus élevé de fertilité pour l'accroissement, il faut adjoindre aux sols de pépinière de la matière organique hautement humifiée.

Ces expériences ont d'autre part confirmé qu'une excessive intensité mycorrhizienne, exprimée par le nombre de radicelles mycorrhizées, ne correspond pas à l'optimum du développement actuel et potentiel des semis; les plants les mieux développés ont en effet un système radiculaire bien équilibré, avec un nombre non excessif de racines mycorrhizées bien distribuées sur toutes les racines longues.

Bibliographie

BECK, G., DOMMERGUES, Y., VAN DEN DRIESSCHE, R., 1969 - L'effet litière. II. Etude expérimentale du pouvoir inhibiteur des composés hydrosolubles des feuilles et des litières forestières vis-à-vis de la microflore tellurique. - *Oecologia plantarum*, **4**, 237.

BENZIAN, B., FREEMAN, S.C.R., PATTERSON, H.D., 1972 - Comparison of Crop Rotations, and of Fertilizer with Compost, in long-term Experiments with Sitka spruce (*Picea sitchensis*) in two English Nurseries. - *Forestry*, **45**, 145.

BJORKMAN, E., 1970 - Mycorrhiza and tree nutrition in poor forest soils. - *Studia for. Suecica*, **83**.

BONFILS, P., 1967 - *Méthodes d'analyses des sols.* - I.N.R.A., *Centre rech. agron. du midi*, Montpellier. *S.E.S.*, **91**.

FASSI, B., 1967 - Recherches sur les mycorrhizes dans les pépinières de résineux en sols agricoles. - XIV IUFRO CONGRESS, Section 24, **5**, 181.

GIORDANO, A., 1960 - Caratteri generali di alcuni terreni ospitanti il pino strobo. - *Monti Boschi*, **7/8**, 317.

GIORDANO A., 1966 - Un esempio di diffusione spontanea del pino strobo. *Atti Convegno Inter. castagno*, Cuneo.

GÖBL, F., PLATZER, H., 1967 - Düngung und Mykorrhizabildung bei Zirbennjungpflanzen. Mitteilungen der Forstlichen Bundes. - *Versuchsanstalt.* Wien, **74**.

IYER, J.G., 1971 - Renovation of fertility of biocide-treated soils. - *Proc. Inter. Symp. Soil Fertility Evaluation*, New Delhi, **1**.

KIMBALL, A.W., 1954 - Short-cut formulas for the exact partition of in contingency tables. - *Biometrics*, **10**, 452.

KONONOVA, M.M., 1960 - *Soil organic matter.* - Pergamon Press, New York and London.

LUNDEBERG, G., 1970 - Utilization of various nitrogen sources, in particular bound soil nitrogen, by mycorrhizal fungi. - *Studia For. Suecica*, **79**.

MIKOLA, P., 1965 - Studies on the ectoendotrophic mycorrhiza of pine. - *Acta for. fenn.*, **79**, 2.

PALENZONA, M., FONTANA, A., 1970 - Influenza di tipi di suolo su 3 forme micorriziche del pino strobo. - *Allionia*, **16**, 101.

PICCAROLO, G. 1958 - Centri di diffusione del pino strobo e possibilità nella Valle del Po. - *Monti Boschi*, **7/8**, 395.

TRAPPE, J.M., STRAND, R.F., 1969 - Mycorrhizal deficiency in a Douglas Fir region nursery. - *Forest Sci.*, **15**, 4.

WILDE, S.A., 1968 - Mycorrhizae: Their role in tree nutrition and timber production. - *Res. Bull.*, **272**.